

© Н.А. Третьякова, Т.А. Алексеева, 2012 г.  
ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого  
Президента России Б.Н. Ельцина»  
г. Екатеринбург,  
ГОУ ВПО «Уральский институт государственной противопожарной  
службы МЧС России»  
г. Екатеринбург  
*n-tretyakova@mail.ru*

## **ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ ТЕХНИКИ НА ОСНОВЕ СЕЛЕНИДОВ МЕТАЛЛОВ**

Селениды свинца и олова относятся к полупроводниковым материалам, обладающим очень важными и интересными свойствами. Особенности кристаллического и электронного строения этих материалов позволяют в широких пределах изменять их электрические свойства, что открывает широкие перспективы для использования данных соединений. Этим можно объяснить возрастающий интерес к совершенствованию технологий получения и изучению свойств селенидов металлов.

Особый интерес к селениду свинца, который имеет малое значение ширины запрещенной зоны, определяется в первую очередь возможностью его использования для создания генераторов и детекторов ИК-излучения. Так, уже в течение многих лет приборы на основе слоев PbSe используются в спектральном диапазоне 1–6 мкм.

На протяжении многих лет основным видом использования халькогенидов свинца была оборонная техника: различные системы обнаружения и наведения на цель. В работе [1] представлен обзор работ по созданию фотоприемников на основе PbS и PbSe, изготовленных методом химического осаждения, использующихся в тепlopеленгационной и тепловизионной аппаратуре. Малогабаритный тепловизор, в котором в качестве фотоприемников использованы элементы на основе селенида свинца, описан в статье [2].

Основные фотоэлектрические и спектральные характеристики фотодетекторов на основе PbSe приведены в таблице. Из приведенных данных следует, что снижение температуры способствует сдвигу рабочего спектрального диапазона и длины волны максимальной чувствительности ( $\lambda_m$ ) в более длинноволновую область спектра. При этом также наблюдается рост величины обнаружительной способности от АЧТ 500 К.

Для контроля концентрации загрязнителей атмосферы используются оптические газовые сенсоры, действие которых основано на сравнении абсорбции ИК-излучения. Подобные приборы, в которых используются

детектирующие элементы из селенида свинца, применяются для определения концентрации CO, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>. В работе [3] продемонстрирована возможность использования подобных газовых анализаторов для одновременного определения нескольких загрязнителей в очень низких концентрациях (порядка нескольких ppm).

Таблица

Основные фотоэлектрические и спектральные характеристики  
инфракрасных приемников на основе PbSe при различных температурах  
слоя [4]

Рабочий спектральный диапазон, мкм	$\lambda_m$ , мкм	Сопротивле- ние, Ом	Постоянная времени, мкс	$D \cdot (500 \text{ K})$ , $\text{см} \cdot \text{Гц}^{1/2} \cdot \text{Вт}^{-1}$	$D \cdot (\lambda_m)$ $\text{см} \cdot \text{Гц}^{1/2} \cdot \text{Вт}^{-1}$
$T = 298 \text{ K}$					
0,9–4,6	3,8	$(1-10) \cdot 10^6$	2	$(0,7-2) \cdot 10^8$	$(1-4) \cdot 10^9$
$T = 195 \text{ K}$					
0,8–5,1	4,2	$10 \cdot 10^6$	30	$(2-4) \cdot 10^9$	$(1-4) \cdot 10^{10}$
$T = 77 \text{ K}$					
0,8–6,6	5,1	$(5-10) \cdot 10^6$	40	$(2-6) \cdot 10^9$	$(1-3) \cdot 10^{10}$

Довольно распространенным материалом, используемым в оптоэлектронных приборах, является и селенид олова. Так, селенид олова находит широкое применение в различных переключающих устройствах.

Тонкие пленки PbSe и SnSe используются в качестве материалов для термоэлектрических устройств. Системы для измерения температуры на основе PbSe описаны в работах [5; 6]. Особые перспективы в термопреобразователях имеют твердые растворы Pb<sub>1-x</sub>Sn<sub>x</sub>Se, которые относятся к наиболее эффективным материалам для температурного диапазона 300–600 K.

Твердые растворы замещения Pb<sub>1-x</sub>Sn<sub>x</sub>Se наряду с селенидом свинца находят широкое применение в излучающих и детектирующих приборах, работающих в инфракрасном диапазоне спектра. Они привлекают к себе огромное внимание, поскольку изменение состава позволяет регулировать такие свойства материала как ширина запрещенной зоны, концентрация носителей заряда, тип проводимости и, следовательно, уровень и диапазон их фоточувствительности. Вследствие возможности получения на основе твердых растворов Pb<sub>1-x</sub>Sn<sub>x</sub>Se материалов с малой шириной запрещенной зоны, данные соединения могут быть использованы в более длинноволновой области спектра по сравнению с индивидуальным селенидом свинца [7; 8], что позволяет значительно расширить области их практического использования. В частности, уже небольшое содержание SnSe в структуре твердого раствора PbSnSe позволяет создать простой и

эффективный материал для оптического датчика обнаружения угарного газа в воздушной среде.

Сведения о спектральных характеристиках приемников на основе PbSnSe можно найти в работе [9]. Приведенные в данной работе зависимости обнаружительной способности двух детекторов на основе  $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Se}$  при  $x = 0,062$  и  $0,070$  от длины волны излучения показывают, что длина волны максимума фоточувствительности соответственно составляет 10,1 и 11,5 мкм. Данные значения значительно превышают аналогичные показатели для детекторов на основе индивидуального PbSe.

Таким образом, фоточувствительных материалы на основе селенидов металлов находят широкое применение в различных областях: позволяют осуществлять дистанционное измерение температуры для нужд промышленности, медицины, безопасности жизнедеятельности, а также решать задачи пассивного обнаружения и химической идентификации различных объектов.

#### Список использованных источников

1. Буткевич В.Г. Фотоприемники на основе халькогенидов свинца: состояние работ в ГУП «НПО «Орион» и перспективы развития / В.Г. Буткевич, Е.Р. Глобус, Г.А. Казанцев, Ю.П. Бутров, Л.Я. Лебедева // Прикладная физика. 1999. № 2. (<http://www.vimi.ru>).
2. Горева Н.З. Малогабаритный тепловизор для гражданских целей / Н.З. Горева, Н.Ф. Кощавцев, В.И. Теплов, С.Ф. Федотова // Прикладная физика. 2002. № 2. С. 144–147.
3. De Frutos J. Electrooptical infrared compact gas sensor / J. de Frutos, J.M. Rodriguez, F. López, A.J. de Castro, J. Meléndez, J. Meneses // Sensors and Actuators B: Chemical. 1994. V. 19, No. 1–3. P. 682–686.
4. Matveev B.A. Mid-infrared (3–5  $\mu\text{m}$ ) LEDs as sources for gas and liquid sensors / B.A. Matveev, G.A. Gavrillov, V.V. Evstropov, N.V. Zotova, S.A. Karandashov, G.Yu. Sotnikova, N.M. Stus, G.N. Talalakin, J. Malinen // Sensors and Actuators B: Chemical. 1997. V. 39, No. 1–3. P. 339–343.
5. Nicolics J. Application of an infrared sensor for laser soldering process control / J. Nicolics, L. Musiejovsky, D. Schrottmayer // Sensors and Actuators A: Physical. 1994. V. 42, No. 1–3. P. 511–515.
6. Meca F.J.M. Infrared temperature measurement system using photoconductive PbSe sensors without radiation chopping / F.J.M. Meca, M.M. Quintas, F.J.R. Sánchez, P.R. Sainz // Sensors and Actuators A: Physical. 2002. V. 100, No. 2–3. P. 206–213.
7. Lambrecht A. Shadow mask MBE for the fabrication of lead chalcogenide buried heterostructure lasers / A. Lambrecht, R. Kurbel, M. Agne // Materials Science and Engineering B. 1993. V. 21, No. 2–3. P. 217–223.
8. Masek J. Thermal imaging camera with linear  $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Se}$ -on-Si infrared sensor array and combined JFET/CMOS read-out electronics /

J. Masek, A. Fach, J. John, P. Müller, C. Paglino, H. Zogg, W. Buttler // Nucl. Instrum. and Methods Phys. Res. A. 1996. V. 377, No. 2–3. P. 496–500.

9. *Hohnke D.K.* Thin-film (Pb,Sn) Se photodiodes for 8–12- $\mu\text{m}$  operation / D.K. Hohnke, H. Holloway, K.F. Yeung, M. Hurley // Appl. Phys. Lett. 1976. V. 29, No. 2. P. 98–100.